

# 고출력, 고효율 PA 설계를 위한 로드-풀 측정

임은재\* · 이정보\*\* · 이영철\*\*\*

## Load-Pull Measurement for High Power, High Efficiency PA Design

Eun-Jae Lim\* · Gyeong-Bo Lee\*\* · Young-Chul Rhee\*\*\*

### 요 약

GaN 전력증폭소자를 이용한 전력증폭기의 고효율 특성을 구현하기 위하여 50Ω으로 정합된 전력증폭소자는 적용 주파수 대역, 출력전력, 효율 특성 선정의 한계가 있으므로 본 연구에서는 source/load-pull 시험을 통한 측정 데이터를 기반으로 고출력, 고효율 특성의 설계 목적에 맞는 정량적 입력 및 출력 임피던스를 추출하여 고효율 전력증폭기를 구현하였다. 구현된 전력증폭기는 2.7-3.1GHz의 주파수 대역에서 25watt(44dBm), 66-76%의 PAE특성 나타낸다.

### ABSTRACT

Power amplification device which is matched to 50Ω in order to achieve a high efficiency of a power amplifier using a GaN power amplification device, since there is a limit of application frequency bands, output power, efficiency characteristics selection, in this study based on the measurement data through the source/load-pull test, high output power and to extract quantitative input and output impedance that matches the design objectives of high output power, high efficiency, an implementation of the high efficiency power amplifier. Implemented power amplifier is shows 25watt(44dBm), PAE of 66-76% characteristics in the frequency band of 2.7-3.1 GHz.

### 키워드

High Power, High Efficiency, Load/Source-Pull, Class-J Power Amplifier  
고출력, 고효율, 로드/소스-풀, J-급 전력증폭기,

## 1. 서 론

최근 이동통신 기지국에서 송신시스템(Transmitter system)에 대한 기술개발은 주어진 스펙트럼을 효율적으로 이용하는 고효율과(High efficiency)와 멀티밴드/멀티모드(Multi-band/Multi-mode)로 동작시키기 위한 광대역 특성으로 구분된다[1]. 이와 같은 이동통신 기지국용 송신시스템의 특성 중 전력증폭기의 고

효율 특성을 구현하기 위하여 넓은 밴드-갭 구조로 높은 항복전압, 열전도 특성, 전자 포화속도 특성이 우수한 GaN 전력증폭소자를 적용하여 Doherty, 스위치 모드 구동방식과 같은 다양한 설계법을 적용한 전력증폭기의 개발이 이루어지고 있다[2-6].

GaN 전력증폭소자는 해외기술에 의존하고 있으며 입/출력이 50Ω으로 정합된 전력증폭소자는 추가적인 회로의 구성이 필요 없어 전력증폭기를 구현하는데

\* 경남대학교 첨단공학과(syncjin@naver.com)

\*\* 엠엠씨엘㈜(lkgbo@mmdl.co.kr)

\*\*\* 교신저자 (corresponding author) : 경남대학교 첨단공학과(micropt@kyungnam.ac.kr)

접수일자 : 2015. 07. 02

심사(수정)일자 : 2015. 08. 13

게재확정일자 : 2015. 08. 23

구조의 단순화, 소형화, 개발시간을 단축할 수 있는 장점이 있다. 그러나 50Ω 정합된 GaN 전력증폭소자의 경우 적용 주파수 대역이 한정적이고, 출력전력, 효율특성이 고정되어 있어 전력증폭기의 정량적 특성을 사용 목적에 맞게 선택할 수 없는 단점이 있다. 또한 전력증폭소자의 출력이 높을수록 국가 전력기술로 분류되어 수출허가 획득이 어려워 bare-die 타입 또는 패키지 타입의 전력증폭소자를 이용하여 전력증폭기의 설계가 이루어지고 있다[7].

일반적으로 전력증폭기 설계는 비선형 모델을 이용하여 load-pull 시뮬레이션을 통해 전력증폭기의 설계가 이루어진다. 이러한 설계방법은 제조사에서 제공한 비선형 모델을 이용하여 회로 시뮬레이션 소프트웨어를 사용하기에 전력증폭기 설계에 소비되는 시간을 단축시킬 수 있는 장점이 있다. 하지만 이러한 설계법은 다음과 같은 한계점이 존재한다.

첫째, 비선형 모델을 이용한 전력증폭기 설계는 비선형 모델의 정확도에 의존한다. 그러나 시뮬레이터 혹은 전력소자 제조사에서 제공되는 비선형 모델을 추출하기 위한 일반적인 접근법이 없는 점이며, 비선형 모델의 정확도가 낮으면 시뮬레이션과 실제 전력증폭기 제작에 있어서 성능차이가 발생하게 된다[8]. 둘째, load-pull 시뮬레이션을 통한 설계는 전력증폭기가 고출력이나 고효율특성을 얻기 위한 조건을 고려할 뿐 전력증폭기기의 비선형 동작에 따른 입력조건 변화는 고려하지 않는다. 전력소자 입력단의 부정합은 전력증폭기의 안정성과 전력소자에 입력된 전력을 전달하는데 중요한 역할을 하므로 source-pull 시험을 통한 증폭소자의 입력단 분석이 필요하다[9].

따라서 본 연구에서는 기존의 설계법이 갖는 한계점을 개선하기 위하여 GaN 전력증폭소자를 이용하여 고출력, 고효율 특성을 갖도록 설계 목적에 맞는 정량적 입력 및 출력 임피던스를 추출하기 위하여 source/load-pull 시험을 통한 측정 데이터를 기반으로 2.7-3.1GHz의 주파수 대역에서 25watt(44dBm)와 70% 이상의 PAE( Power added efficiency)를 갖는 고효율 전력증폭기를 설계하고자 한다.

설계에 있어 GaN 전력증폭소자에 대한 정량적 입력 및 출력 임피던스를 정합시키기 위하여 원하는 출력에서 원하는 효율을 나타내는 임피던스를 프로그램 어블 가변튜너를 이용한 source/load-pull 측정을 통해

최적의 임피던스를 구하여 정합회로를 설계한다. 또한 전력증폭기의 구동방식에 있어서는 J-급 설계기법을 적용하고자 한다. 본 연구에서 제안하는 J-급 전력증폭기는 스위치 모드 전력증폭기의 하모닉 제어조건 만족의 어려움과 전력증폭소자의 출력단 커패시턴스에 의한 하모닉 튜닝의 어려운 문제점을 해결할 수 있다[10]. 또한 AB-급 전력증폭기의 2차 하모닉만을 리액턴스 특성을 갖도록 조정하여 높은 효율을 만족시키며 원하는 선형성과 광대역 특성을 나타내는 전력증폭기 이므로 차세대 이동통신 기지국에 이용되는 RRH의 고효율 광대역 특성을 나타내는 전력증폭기로 이용하고자 한다.

## II. 고출력 GaN 전력증폭소자의 임피던스 특성 측정

본 연구에서 적용한 source/load-pull 시험 구성도는 그림 1과 같다. 고출력 GaN 전력증폭소자( DUT)의 입력과 출력 임피던스 측정을 위해 GaN 전력증폭소자 양단에 두 개의 프로그램어블 가변튜너를 사용하며, 프로그램어블 가변튜너는 자동 보정모드로 동작함으로써 부하값을 변화시킨다. 바이어스 티를 이용하여 GaN 전력증폭소자에 바이어스를 인가하고 입력측과 출력측에 위치한 커플러를 통해 진행방향 또는 역방향 전력을 측정하며 원하는 정격특성(고효율, 출력전력)을 나타내는 입력과 출력 임피던스를 결정한다. 임피던스 측정과정에서 임피던스 부정합에 의해 발생하는 반사파에 의한 구동증폭기의 발전과 GaN 전력증폭소자의 보호를 위해 분리기를 이용하여 제어해야 한다. Source/load-pull 시험과정은 PC를 이용하여 제어하게 된다.

본 연구에서 적용되는 source/load-pull 측정 시스템은 원하는 출력에서 원하는 효율값을 나타내는 입력과 출력 임피던스를 측정하기 위하여 전력소자의 정격특성에 따른 시스템을 다양하게 구성할 수 있는 장점이 있으나 정확한 측정을 위하여 파워미터와 가변 튜너사이의 수동소자들이 출력전력에 미치는 영향을 정확한 디-임베딩(de-embedding) 과정을 통해 보정되므로 source/load-pull 시험 진행 전 특정 시스템의 정확한 보정과정이 필요하다. 보정과정은 그림 1의

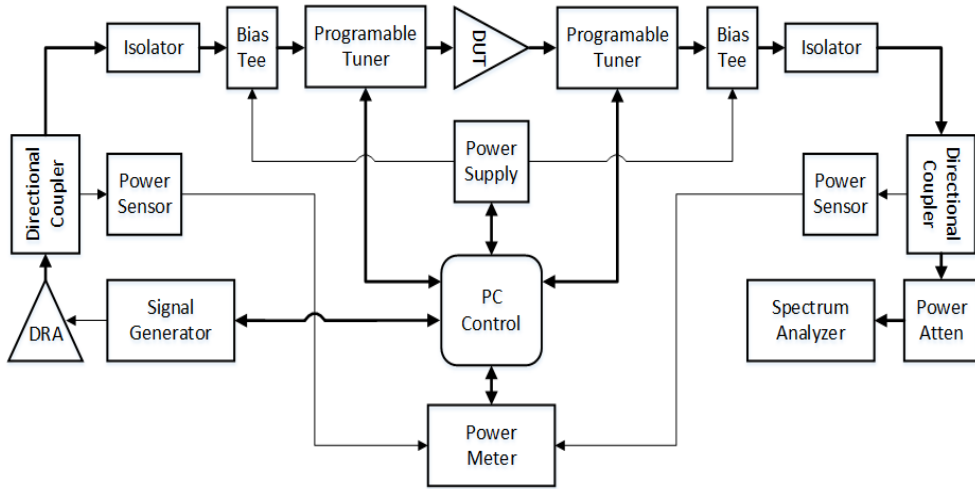


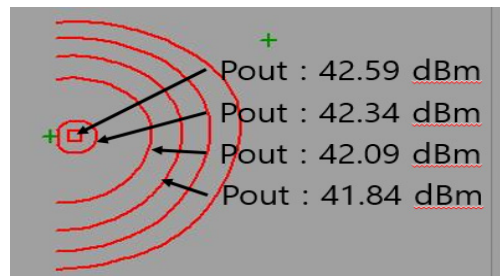
그림 1. Source/load-pull 측정 시스템의 구성도  
Fig. 1 Diagram of source/load-pull measure system

시험구성도에서 GaN 전력증폭소자대신 thru-line을 적용하여 신호 발생기에서부터 스펙트럼 분석기까지의 경로와 가변튜너에서 파워미터까지의 경로에 대한 손실을 각각 측정하며, 신호 발생기와 파워미터에서 각 경로에 대한 손실을 보장하게 된다.

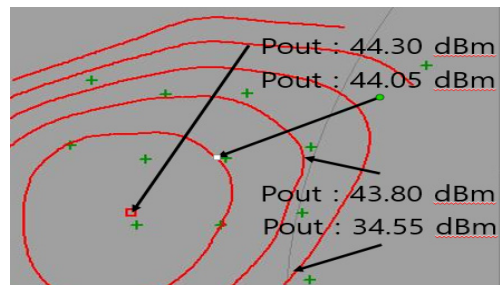
Source/load-pull 시험과정은 사용자가 source/load-pull 제어 프로그램 상에서 임의의 입력 임피던스를 스미스차트에 고루 분포할 수 있도록 여러 위치를 지정하면, 프로그래머블 가변튜너는 지정된 임피던스 중 우수한 특성을 갖는 임피던스 지점을 선정하게 된다. 이때 출력전력, 이득, 효율의 세 가지 특성 중 어느 특성에 가중치를 두느냐에 따라 출력되는 임피던스 값은 달라진다. 출력 임피던스 역시 동일한 방법으로 수행한다.

본 연구에서 적용한 GaN 전력증폭소자는 CREE사의 25watt급 전력소자로 25watt의 출력전력에서 최대 효율을 얻을 수 있는 입력과 출력임피던스를 찾기 위해 source/load-pull 시험을 진행하였으며, 측정 주파수 대역은 2.7-3.1GHz이며, 드레인 전압은 28V, 게이트 전압은 GaN 전력증폭소자가 AB-급으로 동작할 수 있는 -2.75V로 고정하였으며 주파수와 바이어스를 선정 후 프로그래머블 가변튜너의 초기 임피던스 값을 스미스차트의 중앙점인 50Ω으로 설정하고 입력 전력을 가변시키기 위하여 기준 입력가용 전력범위를 설정하였다. 기준 입력가용 전력범위를 설정한 후

source/load-pull을 통해 초기 임피던스 지점을 구하여 결과를 분석하였다. 그림 2는 2.7GHz에서 (a) source-pull, (b) load-pull의 데이터를 보여주고 있다.



(a) Source-pull



(b) Load-pull

그림 2. 최대 출력기준 2.7GHz source/load-pull 결과  
Fig. 2 Maximum output standard 2.7GHz source/load-pull results

그림 3은 3.1GHz에서 (a) source-pull, (b) load-pull의 데이터를 보여주고 있다. Source/load-pull 시험결과 2.7GHz에서 입력은  $0.96 \angle 171.53$ , 출력은  $0.78 \angle -176.17$ 의 임피던스에서 최적의 출력전력을 확인하였으며, 3.1GHz에서 입력은  $0.96 \angle 165.86$ , 출력은  $0.80 \angle -176.59$ 의 임피던스에서 최적의 출력전력을 확인할 수 있다. Source/load-pull 측정결과에 따른 출력전력은 표 1에 정리하였다.

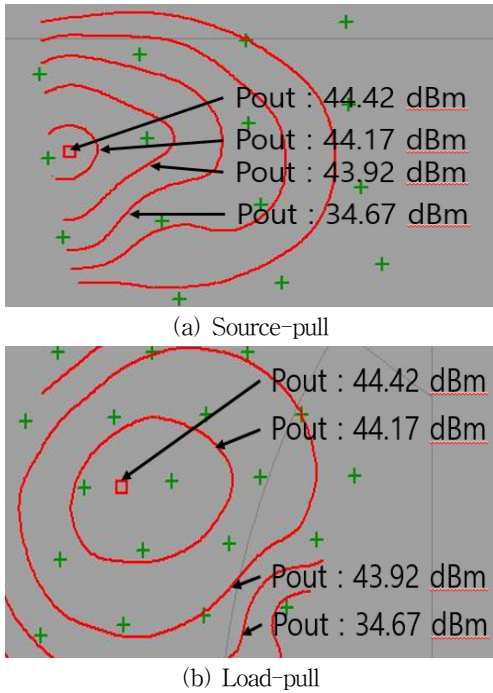


그림 3. 최대 출력기준 3.1GHz source/load-pull 결과  
Fig. 3 Maximum output standard 3.1GHz source/load-pull results

표 1. Source/load-pull 측정결과  
Table 1. Source/load-pull measurement result

Freq.	Source-pull	Load-pull	P <sub>out</sub>
2.7GHz	$0.96 \angle 171.53$	$0.78 \angle -176.17$	44.30 dBm
3.1GHz	$0.96 \angle 165.86$	$0.80 \angle -176.59$	44.34 dBm

그림 4와 그림 5는 source/load-pull 측정을 통해 추출한 임피던스값을 기준으로 전력스융을 통한 출력전력과 이득 그리고 PAE를 각각의 주파수에서 보여주고 있다.

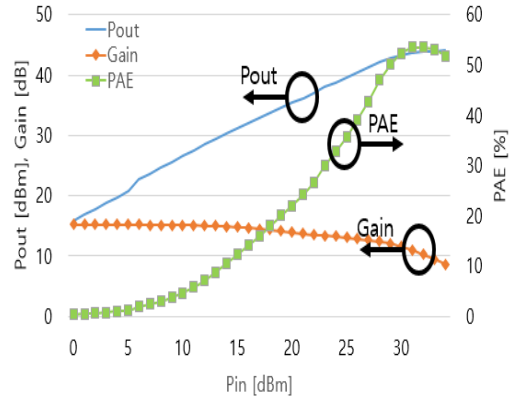


그림 4. 전력스융 결과(2.7GHz)  
Fig. 4 Power sweep results(2.7GHz)

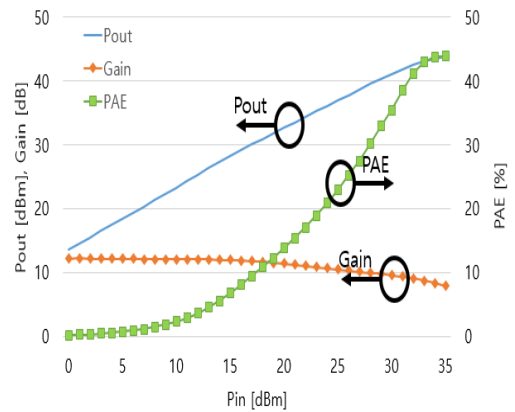


그림 5. 전력스융 결과(3.1GHz)  
Fig. 5 Power sweep results(3.1GHz)

전력스융 시험을 통해 추출한 임피던스로 정합회로를 구현하였을 경우, 25watt의 출력을 만족하기 위해 2.7GHz에서는 33dBm의 입력전력이 필요하며, 이때, 44.16dBm의 출력전력, 9.78dB의 전력이득, 그리고 53.17%의 PAE를 기대할 수 있으며, 3.1GHz에서는 33dBm의 입력전력이 필요하며, 44.18dBm의 출력전력, 10dB의 전력이득, 그리고 44%의 PAE를 기대할 수 있다. 25watt의 출력전력을 만족하기 위한 임피던스를 추출하였기에 PAE 특성과의 트레이드오프로 인한 손실이 발생하였으며, 이를 보완하기 위해 전력증폭기의 효율특성을 보완하기 위한 설계기법의 적용이 필요하다.

### III. 고효율 전력증폭기 설계

2.7-3.1GHz의 대역에서 측정된 source/load-pull 측정결과를 이용하여 최적의 출력과 효율을 얻기 위해 정합회로를 설계하였다. 설계에 사용된 25watt급 GaN 전력증폭소자의 드레인 전압은 28V, 게이트 전압은 전력증폭기가 AB-급으로 동작할 수 있도록  $I_{dq} = 400mA$ 로 선정하여 바이어스를 인가하였다[11].

AB-급 전력증폭기의 설계에 있어 입력단은 입력정합회로와 전력증폭기의 안정도를 높이기 위해 직렬 저항을 추가 하였다. 출력단에는 높은 효율과 출력전력을 얻기 위해 출력정합회로를 구현하였다. 전력증폭기의 광대역 특성을 얻기 위하여 출력 기생커패시턴스가 주파수에 따라 보상이 되어야 하지만 설계 대역에 대한 각 주파수별 보상이 어렵기 때문에 절충점을 찾아 대역 특성을 높일 수 있게 설계가 이루어 져야 한다.

그러나 GaN 전력증폭소자의 경우 다른 전력증폭소자와 비교하였을 때, 2.3-2.9pF의 낮은 커패시턴스 값을 가지기 때문에 광대역 전력증폭기 설계에 유리하다. 정합회로의 설계에 있어서 설계하고자 하는 주파수 대역의 낮은 주파수를 기준으로 정합을 수행한다. 이때, 출력 정합회로는 충분한 전기적 길이를 확보하여 설계 주파수 대역에서 전력증폭기의 출력 반사손실 특성이 2-3pole을 갖도록 하여 광대역 특성을 유도하고 입력 정합회로는 전체 대역의 이득 평탄도 특성을 확보할 수 있도록 정합회로를 설계하는 것이 중요하다.

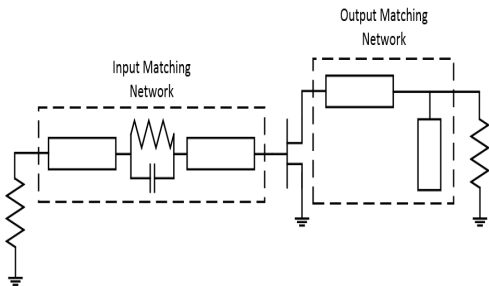


그림 6. J-급 전력증폭기 구성도  
Fig. 6 Class-J power amplifier block diagram

그림 6은 2차 하모닉이 리액턴스 특성을 가지며 J-급 전력증폭기로 동작하기 위한 2차 하모닉 제어부가 적용된 J-급 전력증폭기의 회로도를 나타내며 그림 7은 설계된 J-급 전력증폭기의 기본 주파수 성분 임피던스 특성과 2차 하모닉 임피던스가 리액턴스 성분을 나타냄을 보여준다[11].

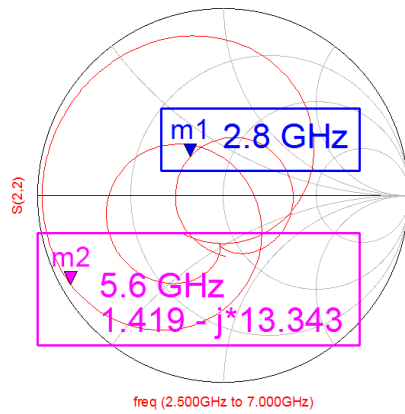


그림 7. 전력증폭기의 2차 하모닉 임피던스 특성  
Fig. 7 2<sup>nd</sup> harmonic impedance characteristic of power amplifier

시뮬레이션 결과 2.7-3.1GHz대역 내에서 44.2dBm 이상의 출력전력을 나타내었으며, 68.1-74.4%의 PAE 특성을 얻을 수 있었다. 이에 대한 EM 시뮬레이션 결과를 그림 8, 그림 9에 나타내었다..

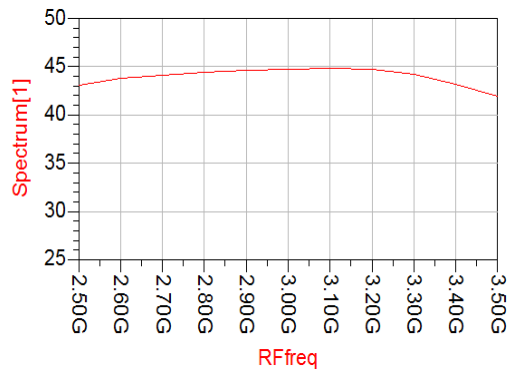


그림 8. J-급 전력증폭기 출력전력 EM 시뮬레이션 결과  
Fig. 8 Output power EM simulation results of Class-J power amplifier

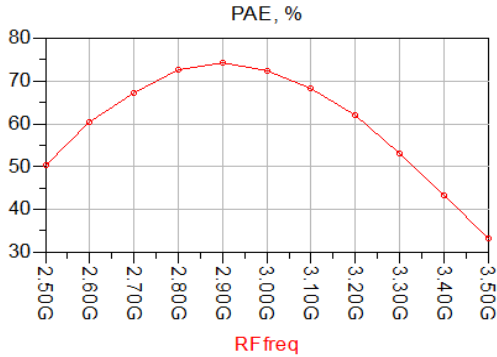


그림 9. J-급 전력증폭기 전력부가효율 EM 시뮬레이션 결과

Fig. 9 PAE EM simulation results of Class-J power amplifier

표 2는 AB-급 전력증폭기와 J-급 전력증폭기의 대역 내 주파수별 PAE특성을 비교하였다. J-급 적용을 통하여 최대 13%의 PAE 개선효과를 확인할 수 있다

표 2. AB-급 전력증폭기와 J-급 전력증폭기 특성비교

Table 2. Comparison with Class-AB PA and Class-J PA

Freq. [GHz]	Class-AB PA		Class-J PA	
	$P_{out}$ [dBm]	PAE [%]	$P_{out}$ [dBm]	PAE [%]
2.7	43.8	54.9	44.1	68.1
2.8	44.4	61	44.4	73.2
2.9	44.9	66.1	44.6	74.4
3.0	45.2	69.3	44.7	72.5
3.1	45.3	70.3	44.8	68.4

그림 10은 source/load-pull 측정값을 기반으로 제작된 전력증폭기의 실물을 보여주고 있다. 제작에 사용된 기판은 유전율 2.2의 저손실 특성을 갖는 기판을 적용하였다. 그림 11과 그림 12는 제작된 전력증폭기의 측정결과를 나타내고 있다. 그림 11은 100MHz단위로 측정된 전력스윙과 이득 억압정도를 측정하여 나타 내었으며, 그림 12는 각 주파수별 출력 전력과 PAE 특성을 보여주고 있다. 측정결과 2.7-3.1GHz 주파수 대역에서 P1dB 기준으로 25watt (44dBm)의 출력전력과 66-76%의 PAE 특성을 확인하였다.

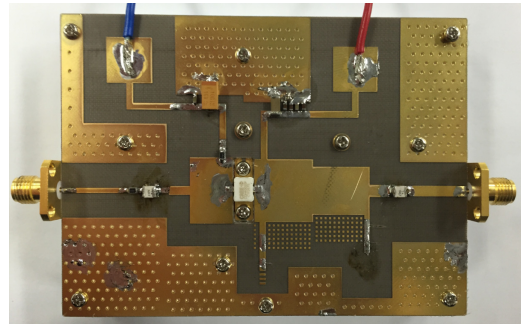


그림 10. 제작된 전력증폭기  
Fig. 10 Implemented power amplifier

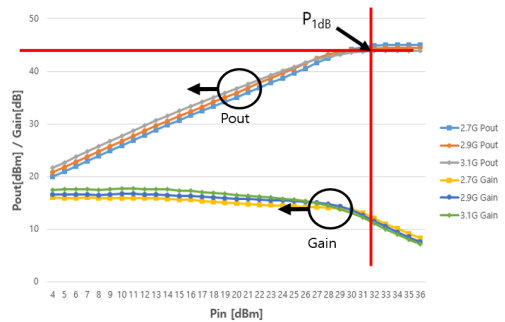


그림 11. Pin/Pout 관계 측정결과  
Fig. 11 Pin/Pout measurement results

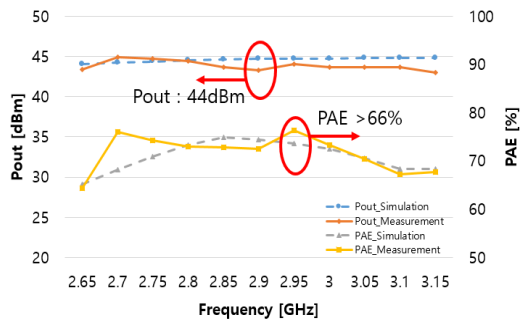


그림 12. 주파수별 출력전력, 전력부가효율 측정결과

Fig. 12 Measurement results of frequency dependent output power, PAE

시뮬레이션 결과와 source/load-pull 측정값을 기반으로 제작된 J-급 전력증폭기의 측정결과를 비교하였을 때, 25watt급의 동일한 출력전력을 확인할 수 있으

며, PAE의 경우 2.7GHz의 낮은 PAE를 보완하기 위하여 성능 최적화 작업을 통해 76%의 PAE 성능을 확인할 수 있었으나 3GHz이상의 주파수에서는 시뮬레이션 결과보다 낮은 전력부가효율 성능을 확인하였다. 이는 고정된 전송선로에 의한 정합회로와 2차 하모닉 제어회로가 3GHz이상의 주파수에서 J-급 동작 조건을 만족하지 못해 발생한 문제이다.

본 연구에서 제작한 전력증폭기의 성능과 참고문헌의 성능을 표 3에서 비교하였다. 참고문헌은 S-대역 GaN 전력증폭소자를 이용하여 D, E, F, F-1-급으로 설계된 전력증폭기의 성능지표이며, 참고문헌 [5, 6]의 경우, F, F-1 전력증폭기로 73% 이상의 우수한 PAE 특성을 보여주고 있으나 설계된 대역폭이 좁고 단일 주파수에서 측정된 결과를 나타내었다. 주목할 점은 성능비교 된 참고문헌의 전력증폭기의 대역폭보다 더 넓은 대역폭(400MHz)을 유지하면서, 66-76%의 더 높은 PAE 특성을 갖는 것을 확인할 수 있다. 또한 스위치 모드 전력증폭기와 동등한 수준의 PAE 특성을 가지면서 단순한 구조로 구현되기 때문에 전력증폭기의 소형화에도 이점이 있음을 확인할 수 있다.

표 3. 전력증폭기 성능분석  
Table 3. Performance analysis of power amplifier

	this work	Ref. [3]	Ref. [4]	Ref. [5]	Ref. [6]
Power [W]	25	29.5	10	10	10
Gain [dB]	16	14.4	13	20	11
PAE [%]	> 68	62	62.5	79.2	70
Freq. [GHz]	2.7-3.1	2.60	1.95	1.00	3.4-3.6
HEMT type	GaN	GaN	GaN	GaN	GaN

#### IV. 결론

본 연구에서는 전력증폭소자 제조사에서 제공되는 비선형 모델을 이용한 기존 설계법의 단점을 보완하고 설계 목적에 맞는 임피던스를 자유롭게 선정할 수 있는 source/load-pull 시험을 통해 전력증폭기를 설계

하였다. 프로그램어블 가변튜너를 이용하여 고출력 특성을 만족하는 입력과 출력 임피던스를 선정하였으며, source/load-pull 시험을 통해 선정된 GaN 전력증폭소자의 입력과 출력 임피던스를 이용하여 전력증폭기의 설계에 있어 효율특성을 보완하기 위하여 J-급 설계 기법을 적용하였다. 제작된 J-급 전력증폭기는 2.7-3.1GHz 대역에서 25watt급의 출력전력과 66-76%의 PAE를 확인할 수 있었다. 적용된 J-급 설계기법은 스위치모드 전력증폭기와 비교하였을 때, 스위치 모드 전력증폭기와 동등한 PAE 특성을 가지며, 간단한 회로구성을 가지므로 소형화에 이점이 있음을 확인할 수 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 교육부와 한국연구재단의 2015년 지역 혁신 인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

#### References

- [1] A. Parssinen, "Multimode multiband transceivers for next generation of wireless communications," *2011 Proc. of the European Solid-State Device Research Conf.*, Helsinki, Sept. 2011, pp. 42-53.
- [2] W. Chen, S.A. Bassam, X. Li, Y. Liu., K., Rawat, M., Helaoui, F.M. Channouch, and Z. Feng, "Design and linearization of concurrent dual-band Doherty power amplifier with frequency - dependent power ranges," *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. 59, no. 10, Oct. 2011, pp. 2537-2546.
- [3] A. Sigg, S. Heck, A. Brackle, and M. Berroth, "High efficiency GaN current-mode class-D amplifier at 2.6GHz using pure differential transmission line filters," *Electronics Letters*, vol. 49, no. 1, Jan. 2013, pp. 47-49.
- [4] P.A. Godoy, S. Chung, T.W. Barton, D.J. Perreault, and J.L. Dawson, "A highly efficient 1.95-GHz, 18-W asymmetric multilevel outphasing transmitter for wideband applications," *2011 Institute of Electrical and Electronics Engineers Int. Microwave Symp. Digest*, Baltimore, June 2011.

- [5] S. Liu and D. Schreurs, "Intrinsic class-F RF GaN power amplifier with a commercial transistor based on a modified "Hybrid" approach," *2012 Workshop on Integrated Nonlinear Microwave and Millimetre-Wave Circuits*, Ireland Dublin, Sept. 2012.
- [6] Y. Xu, J. Wang, and X. Zhu, "Analysis and implementation of inverse class-F power amplifier for 3.5GHz transmitter," *2010 Asia-Pacific Microwave Conf. Proc.*, Yokohama, Dec. 2010, pp. 410-413.
- [7] S. Choi, S. Lee, and Y. Rhee, "A Design of wideband, high efficiency power amplifier using LDMOS," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 1, 2015, pp. 13-19.
- [8] F.M. Ghannouchi and M.S. Hashmi, "Load-pull techniques and their applications in power amplifiers design," *2011 Institute of Electrical and Electronics Engineers Bipolar/BiCMOS Circuits and Technology Meeting*, Atlanta, Oct. 2011, pp. 133-137.
- [9] Y. Han, A. Radomski, Y. Chawla, J. Valcore, and S. Polizzo, "Power accuracy and source-pull effect for a high-power RF generator," *2006 67<sup>th</sup> Automatic RF Techniques Group Conference*, San Francisco, June 2006, pp. 81-92.
- [10] P. Wright, J. Lees, J. Benedikt, P.J. Tasker, and S.C. Cripps, "A methodology for realizing high efficiency class-J in a linear and broadband PA," *Institute of Electrical and Electronics Engineers Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. 57, no. 12, Dec. 2009, pp. 3196-3204.
- [11] S. Rezaei, L. Belostotski, F.M. Ghannouchi, and P. Aflaki, "Integrated design of a class-J power amplifier," *Institute of Electrical and Electronics Engineers Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. 61, no. 4, Apr. 2013, pp. 1639-1648.

저자 소개



**임은재(Eun-jae Lim)**

2008년 경남대학교 정보통신공학과 졸업(공학사)  
2010년 경남대학교 대학원 정보통신공학과 졸업(공학석사)

2012년 ~현재 경남대학교 대학원 첨단공학과(박사과정)

2014년 ~현재 전자부품연구원 전자소재 응용연구센터

※ 관심분야 : 마이크로파 능동회로 응용, RF power amplifier



**이경보(Gyeong-bo LEE)**

2002년 경남대학교 전기전자공학부(공학사)

2003년 경남대학교 대학원 정보통신공학과 졸업(공학석사)

2004년 ~현재 엠엠씨엘(주)

※ 관심분야 : 마이크로파 능동회로 응용, RF power amplifier, 위성통신



**이영철(Young-chul Rhee)**

1981년 ~현재 경남대학교 정보통신공학과 교수

※ 관심분야 : 마이크로파 능동회로 응용, RF power amplifier, 무선통신시스템